L'amplificateur inverseur (AOP)

Durant cette activité de **travaux dirigés**, nous allons réaliser ensemble sous l'application **Ltspice** un **amplificateur inverseur** à base d'un **amplificateur opérationnel** de référence **LM741.** Pour cela, nous allons réaliser ce montage, le simuler et ensuite analyser son comportement afin de retrouver la valeur d'amplification ***A*** de ce composant.

Un petit rappel ?
Un **AOP**, appelé aussi amplificateur opérationnel, est un composant électronique à base de semi-conducteur très utilisé en électronique analogique. Ce composant nous permet de réaliser plusieurs fonctions telles que l'amplification d'un signal, réaliser des opérations mathématiques sur des signaux électriques, filtrer des signaux, etc.

Réalisation d'un amplificateur inverseur à base d'un LM741

En application directe de notre cours sur les l'**amplificateur opérationnel (AOP)**, nous allons utiliser la solution de simulation électronique **Ltspice** pour réaliser le schéma d'un **AOP inverseur** comme le propose le montage ci-dessous :

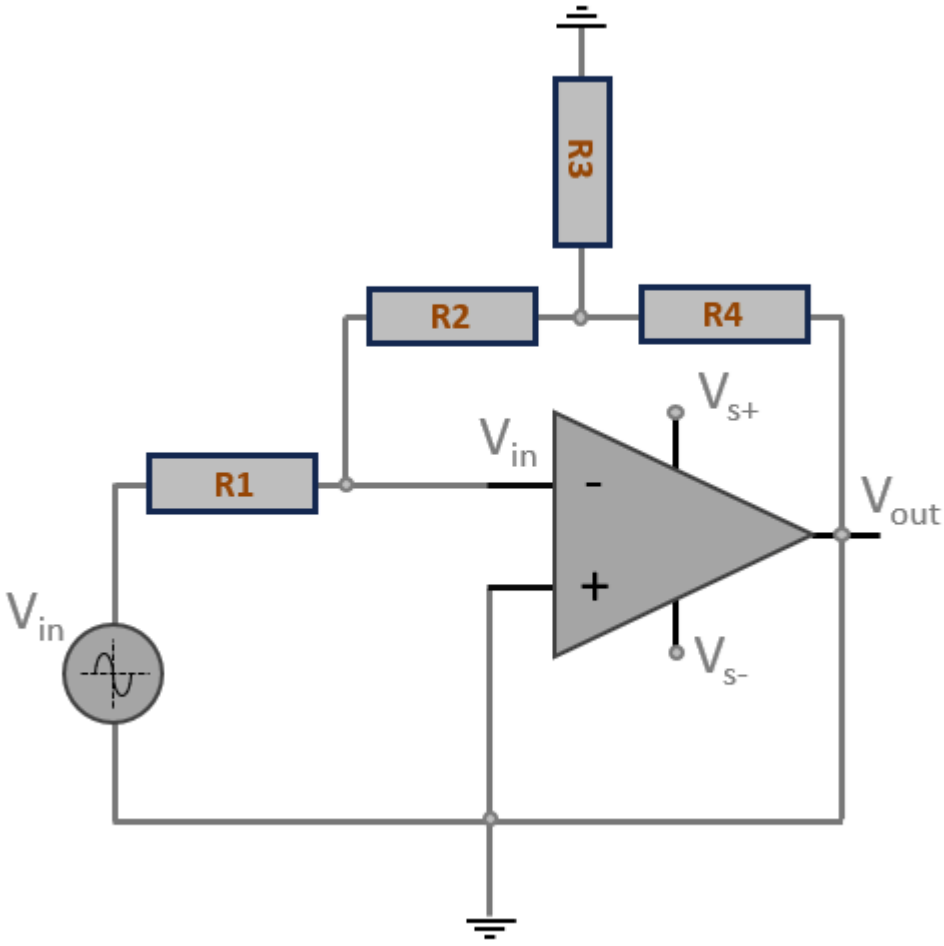
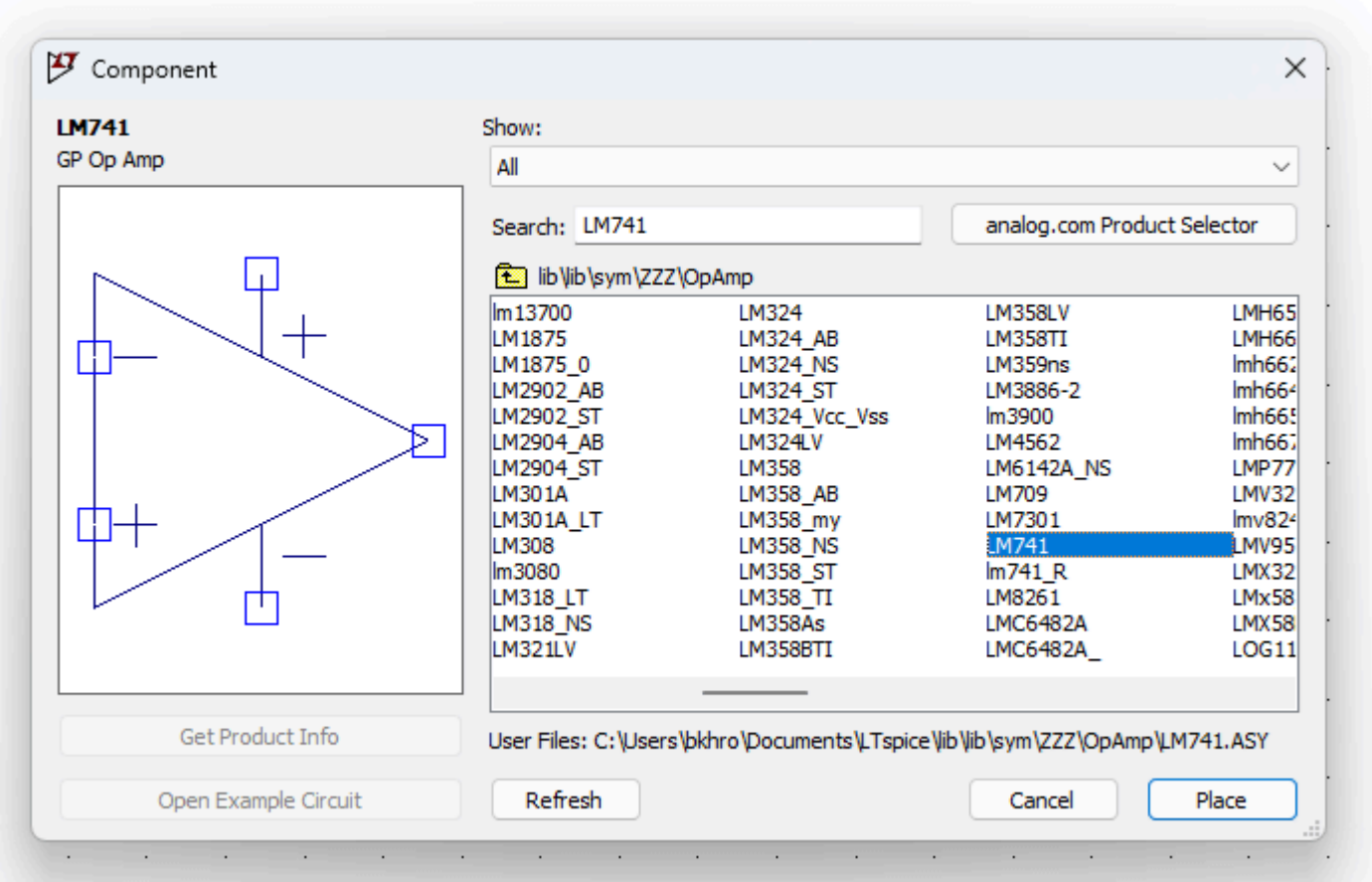


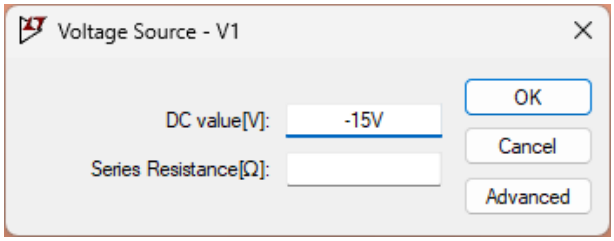
Schéma du amplificateur non-inverseur à base d'un AOP

Configurons maintenant les différentes **résistances** à une valeur unique de **100Ω** sous **Ltspice** pour **R_1**, **R_2**, **R_3** et **R4**

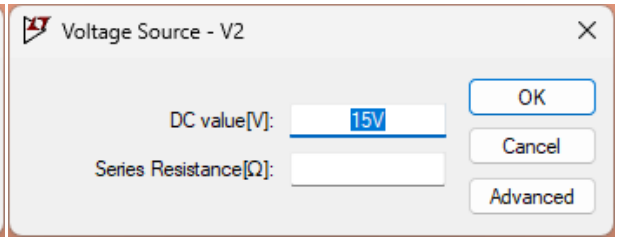
Et finalement, sélectionnez ensuite la référence **LM741** pour notre amplificateur opérationnel. Pour cela, appuiyez sur la touche **P**, la fenêtre **component** (composant en français) s'affiche, recherchez ensuite la référence **LM741** et puis placez votre composant dans le projet en cours. La capture ci-dessous vous explique cela :



Comme tout amplificateur opérationnel, nous devons l'alimenter. Pour cela, nous aurons besoin de deux sources d'alimentation de **+15V** et de **-15V** (d'après les recommandations de la fiche technique de ce composant). Pour modéliser cela sous **Ltspice**, nous allons utiliser deux sources d'alimentation $\mathbf{V_1}$ et $\mathbf{V_2}$ configurées respectivement à **+15V** et **-15V** comme nous le démontre les deux images ci-dessous :

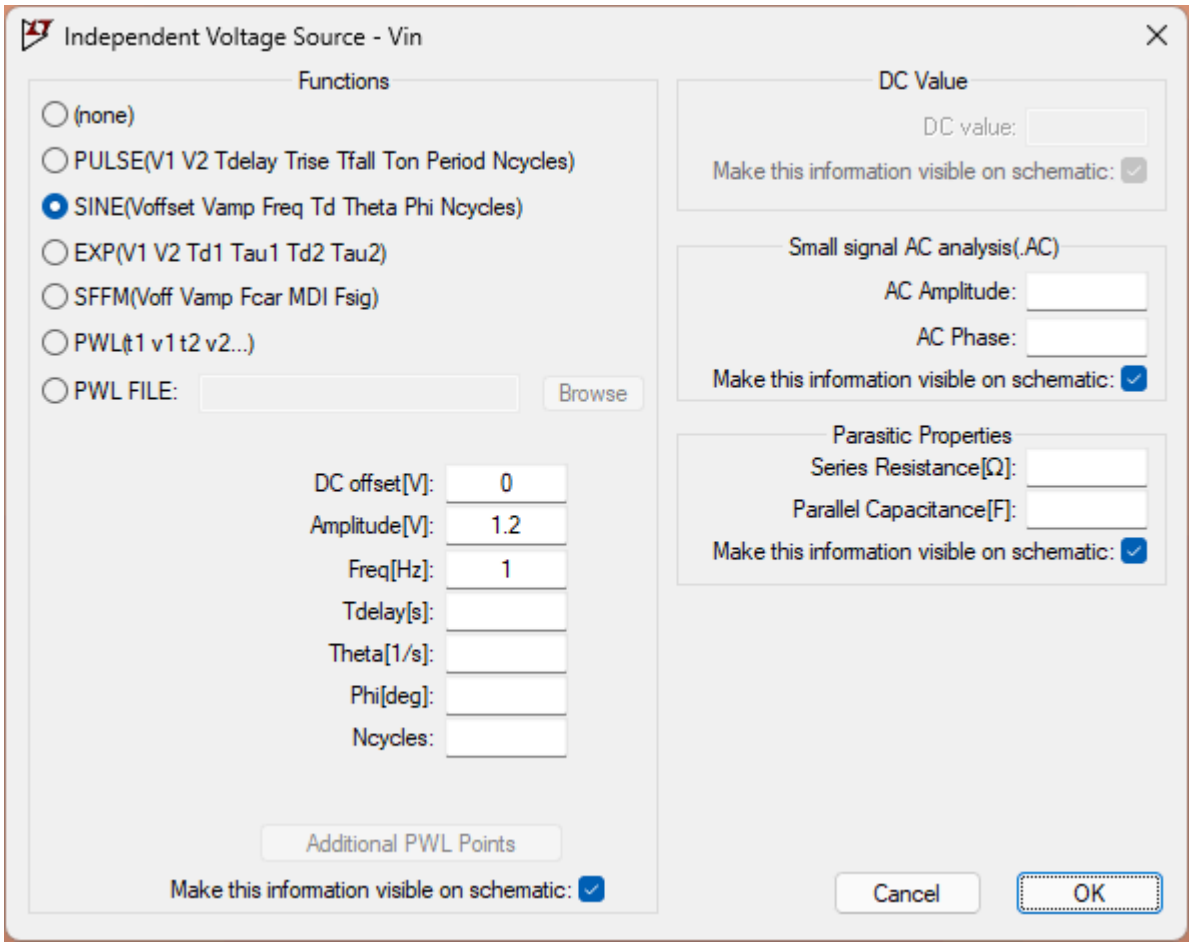


Configuration de **VS-** pour l'AOP

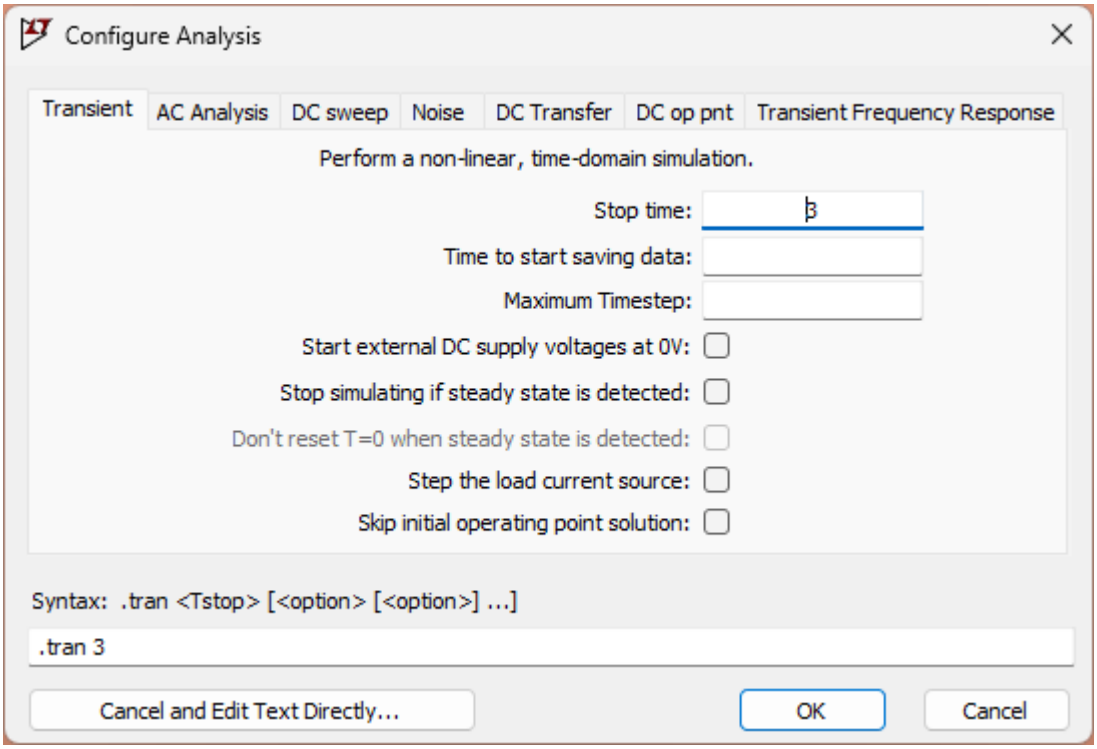


Configuration de **VS+** pour l'AOP

Et pour simuler un signal électrique $\mathbf{V_{in}}$ pour notre source VS+ à amplifier. Pour cela, nous allons créer avec une troisième source d'alimentation soit donc un **signal alternatif** d'amplitude **1.2V** et de fréquence **1 Hz**. La fenêtre ci-dessous vous détaille ce que vous devez configurer sous **Ltspce** :



Ainsi, une fois tout est configuré sous notre solution de simulation **Ltspice**, nous pouvons lancer la simulation en choisissant le mode **Transient** et en configurant le **stop time** à **3 secondes** comme nous le démontre la capture ci-dessous :



Une fois la simulation est terminée, ajoutez le résultat de la simulation $\mathbf{V_{out}}$ en la mettant dans le même graphe avec la trace $\mathbf{V_{in}}$. Que constatez-vous ?

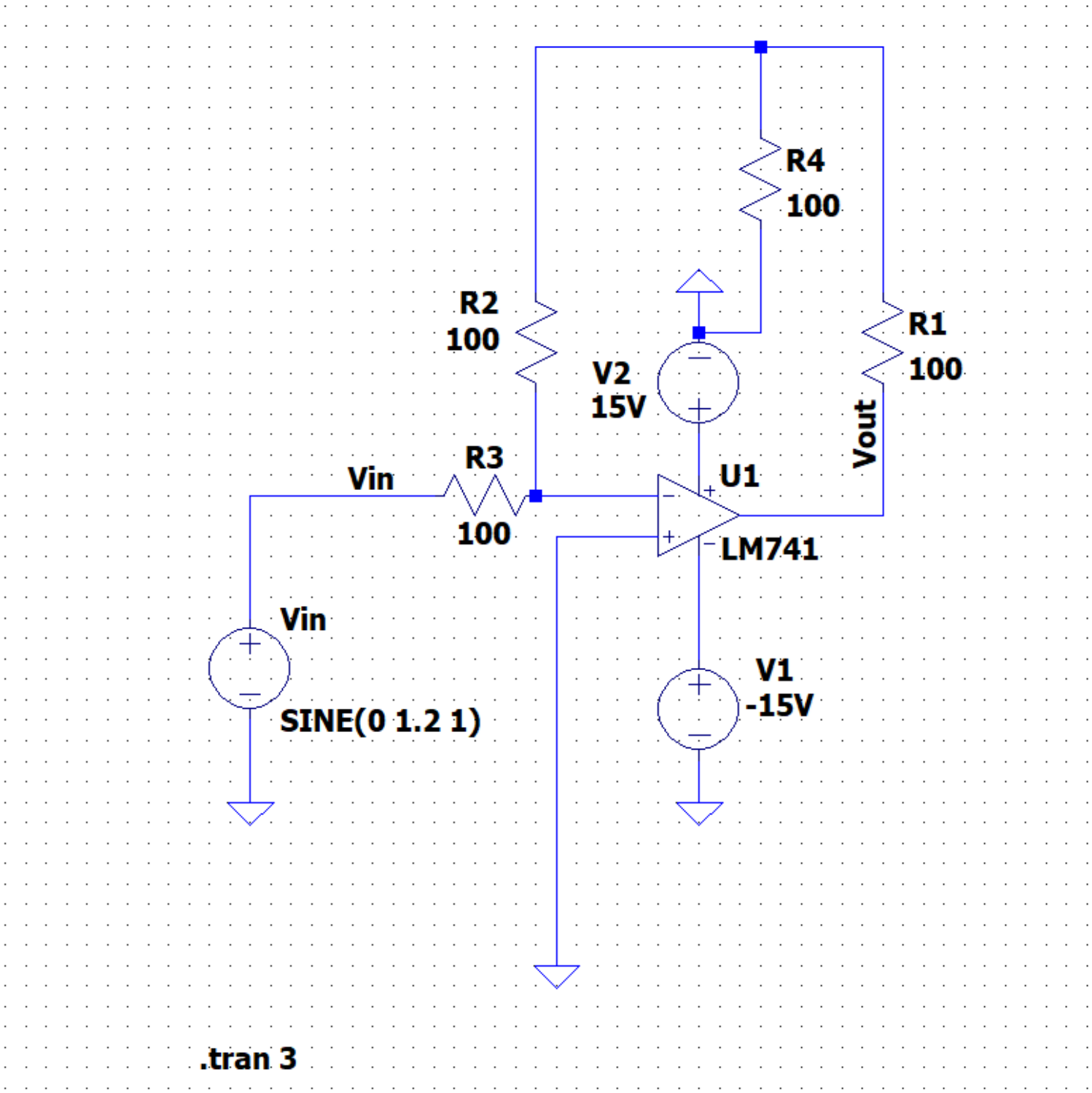
A l'aide du curseur, relevez les différentes valeurs $\mathbf{V_{out}}$ en fonction des valeurs les plus proches aux valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous pour le signal d'entrée $\mathbf{V_{in}}$:

V_{in}	V_{out}	V_{out} / V_{in}
0V		
0.6V		
1.2V		
-0.6V		
-1.2V		

Calculez le facteur d'amplification ***A***, appelé aussi le gain de l'amplificateur opérationnel, pour ce circuit d'amplification ?

Modélisation et analyse : Amplificateur opérationnel inverseur

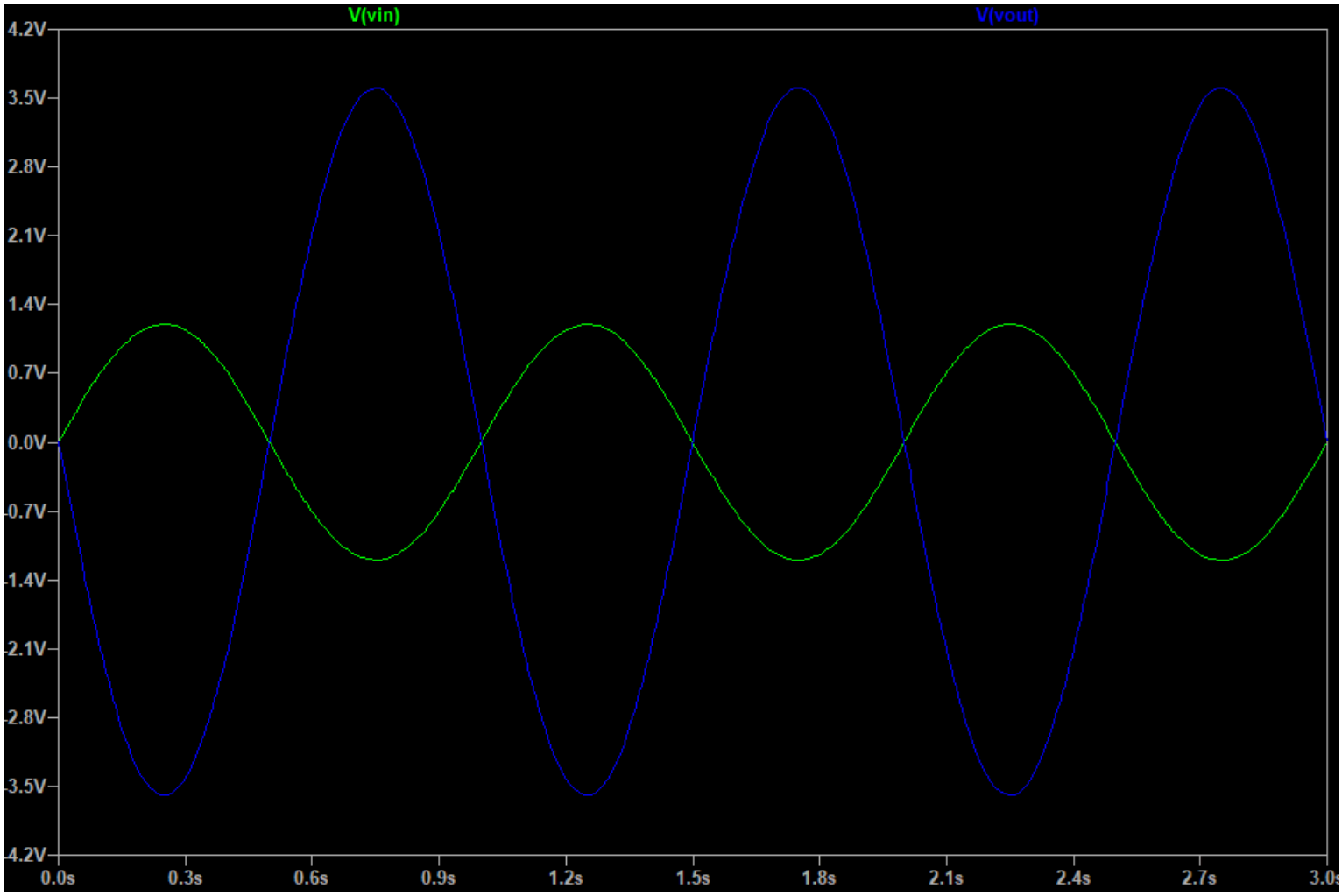
A partir du schéma du montage proposé dans l'énoncé de cette activité, et en suivant les consignes pour modéliser les sources d'alimentations **VS+** et **VS-** à partir de deux sources générateurs de signal continu **DC** et un troisième générateur V_{in} pour modéliser une source de **courant alternatif** ayant une **fréquence** de **2 Hz** et une **amplitude** de **1V.** Notre projet sous Ltspice sera ainsi comme suit :



Comme vous pouvez le remarquer, nous avons aussi configuré les différents composants sous la solution Ltpsice avec les valeurs fournies telles que :

R_1 = 100Ω,
R_2 = 100Ω,
R_3 = 100Ω,
R_4 = 100Ω,
et notre amplificateur opérationnel à la référence **LM741**.

Une fois que notre projet est correctement configuré, nous pouvons initier la simulation à partir du menu principal **Simulate,** ensuite **Run**, ou à partir du raccourci clavier en appuyant simultanément les deux touches **Alt** et **R**. Une fois que le simulateur termine son calcul, vous pouvez ajouter manuellement les deux variables $\mathbf{V_{in}}$ et $\mathbf{V_{out}}$ dans le même graphe comme vous le détaille la capture ci-dessous :

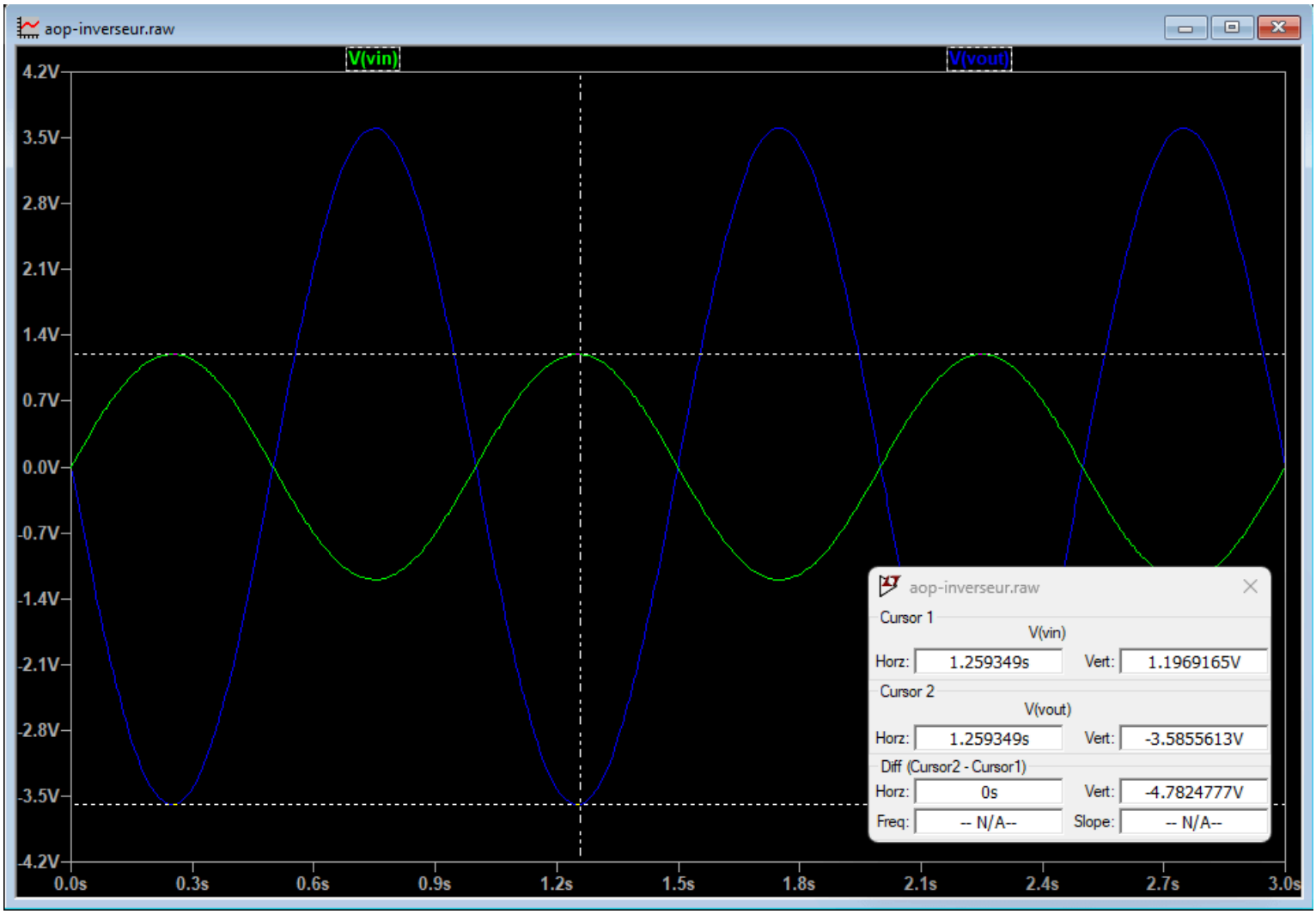


Analysons maintenant ces 2 courbes en détail. Nous constatons donc :

- Le signal $\mathbf{V_{out}}$ présente une amplitude plus importante que l'amplitude du signal à l'entrée $\mathbf{V_{in}}$. Donc nous pouvons dire que notre système amplifie notre signal fourni à son entrée $\mathbf{V_{in}}$.
- Le signal $\mathbf{V_{out}}$ à la sortie de notre étage d'amplification suit à l'opposé le signal $\mathbf{V_{in}}$ reçu à son entrée. Donc, nous pouvons conclure que les deux signaux sont en opposition de phase.
- Les deux signaux présentent la même fréquence donc \(V_{out} = V_{in} = 1 Hz \)

Nous pouvons donc conclure que ce système nous amplifie notre signal fourni à l'entrée **V+** de notre amplificateur **avec inversion de phase**.

Maintenant, en utilisant le curseur pour les deux courbes $\mathbf{V_{in}}$ **et** $\mathbf{V_{in}}$ dans la même fenêtre de sortie, nous pouvons maintenant lire les différentes valeurs demandées dans le tableau de l'énoncé. Par exemple, pour la valeur Vin = 1.19V ≅ 1.2V, nous lisons Vout = -3.58 mV ≅ -3.6V. L'image ci-dessous nous détaille cet exemple de lecture à partir de la fenêtre des courbes du résultat obtenu :



Pour lire la première courbe, il est demandé de la rajouter dans la fenêtre, par exemple la courbe de la tension **V(vin)** dans notre cas, puis vous pouvez cliquer sur son nom pour afficher les deux curseurs de lecture.

Pour ajouter les deux curseurs de la deuxième courbe dans la même fenêtre de lecture, cliquez deux fois sur le nom de la deuxième courbe ajoutée ; dans notre cas c'est la courbe souhaitée sera **V(vout)**, qui représente la tension à la sortie de notre étage d'amplification. Ainsi, pour déplacer le premier curseur ou le deuxième vers la position souhaitée, après que vous avez sélectionné l'une des deux traces, vous pouvez utiliser les deux flèches gauche **(←)** et droite **(→)** pour déplacer le curseur pour lire au fur et à mesure la valeur indiquée dans la petite fenêtre qui s'affiche.

Une par une, nous pouvons relever les différentes valeurs demandées :

V_{in} demané	V_{in} (lu depuis la courbe sous ltspice)	V_{out}	$A = V_{out} / V_{in}$
0V	0V	0V	impo
0.6V	677.55657mV = 0.677V	-2.0275593V	2.99 ≅ 3
1.2V	1.185581V	-3.5515332V	2.99 ≅ 3
-0.6V	-623.87568mV	1.8765842V	3.01 ≅ 3
-1.2V	-1.1889782V	3.5718429V	3.00 ≅ 3

En conclusion, comme nous pouvons le constater, nous avons un système d'amplificateur inverseur avec un gain d'amplification ***A = 3***.

Le projets Ltspice

Vous pouvez télécharger directement l'ensemble des fichiers de cette présente activité au format projet **LTspice** à partir de notre espace **GitHub** :

- **https://github.com/ElectroRobot/amplificateur-operationnel-AOP**

Nous vous partageons également les fichiers **.lib** et **.asy** du composant **LM741** requis pour le bon fonctionnement du simulateur **Ltspice**.

Plus d'activités avec les amplificateurs opérationnels ?

Pour mieux vous faire familiariser avec ce composant actif, nous vous proposons de découvrir d'autres activités que nous proposons portant sur les amplificateurs opérationnels (AOP) :

- **L'amplificateur non-inverseur** (Amplificateur opérationnel ; AOP)
- **L'amplificateur suiveur** (Amplificateur opérationnel ; AOP)

Electro-Robot </> 2024-2026, la solution complète pour apprendre l'électronique, la programmation et la robotique.